

添加剂对 BOPP 薄膜光学性能的影响

涂志刚¹, 熊立贵¹, 陈利伟¹, 张尚先¹, 李新芳²

(1.广东开放大学(广东理工职业学院), 广州 510091; 2.中山火炬职业技术学院, 中山 528436)

摘要: **目的** 研究常见类型添加剂对 BOPP (双向拉伸聚丙烯) 薄膜表面光泽度和雾度的影响。**方法** 通过测试 BOPP 薄膜的表面光泽度、雾度, 对比分析不同类型添加剂对 BOPP 薄膜光学性能的影响。**结果** 氢化石油树脂与芯层 PP 有良好的相容性, 有利于改善 BOPP 薄膜的表面光泽度和透明性, 质量分数为 5%~20% 的氢化石油树脂可以使 BOPP 薄膜的光泽度由 88% 提高到 95%, 雾度由 1.7% 降至 0.8%, 增透效果明显。抗静电剂 (烷基二乙醇胺、单甘酯) 和爽滑剂 (硅酮类、芥酸酰胺) 与 PP 有部分相容性, 在迁移过程中不同程度地影响了 BOPP 薄膜的光学性能。在烷基二乙醇胺与单甘酯复配的抗静电体系中, 烷基二乙醇胺的添加有利于 BOPP 薄膜光学性能的提高, 单甘酯含量的提高明显恶化了薄膜的光学性能, 芥酸酰胺的添加造成 BOPP 薄膜光泽度下降, 雾度增加, 苯基改性硅酮比普通硅酮更有利于提高 BOPP 薄膜表面的光泽度与透明性。抗粘连剂二氧化硅与表层 PP 不相容, 形成了界面, 在二氧化硅含量大于 0.15% (质量分数) 时, 雾度迅速提高, 光泽度下降。**结论** 薄膜生产配方中添加剂的选择与优化是开发高表面光泽度低雾度 BOPP 薄膜的关键。

关键词: BOPP 薄膜; 添加剂; 表面光泽度; 雾度

中图分类号: TQ325 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)13-0139-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.13.019

Effects of Additives on Optical Properties of BOPP Films

TU Zhi-gang¹, XIONG Li-gui¹, CHEN Li-wei¹, ZHANG Shang-xian¹, LI Xin-fang²

(1.The Open University of Guangdong (Guangdong Polytechnic Institute), Guangzhou 510091, China;
2.Zhongshan Torch Polytechnic, Zhongshan 528436, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of common additives on the surface gloss and fog of BOPP (biaxially oriented polypropylene) films. The effects of different types of additives on the optical properties of BOPP film were compared and analyzed by measuring the surface gloss and fog of BOPP films. It was found that hydrogenated petroleum resin had good compatibility with PP and was beneficial to improve the surface gloss and transparency of BOPP films. 5%-20% (mass fraction) hydrogenated petroleum resin could increase the gloss of BOPP film from 88% to 95%, and decrease the fog from 1.7% to 0.8%. The transparency enhancement effect was obvious. Antistatic agents (alkyl diethanolamines, monoglycerides) and slipping agents (silicones, erucic amide) had partial compatibility with PP, and the optical properties of BOPP films were affected to varying degrees during migration. In the antistatic system composed of alkyl diethanolamine and monoglyceride, the addition of alkyl diethanolamine was conducive to improving the optical properties of BOPP films, the increased content of monoglyceride significantly worsened the optical properties of the films, and

收稿日期: 2019-09-03

基金项目: 广东省科技计划 (2016A010104002); 广东省普通高校特色创新类项目 (2017GKTSCX075)

作者简介: 涂志刚 (1969—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为塑料包装材料的加工与改性。

通信作者: 熊立贵 (1975—), 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为塑料改性及塑料机械自动化技术。

the addition of erucic amide also caused the gloss of BOPP film to decrease and the fog to increase. Phenyl modified silicone was more advantageous to improve the surface gloss and transparency of BOPP film than ordinary silicone. The interface of anti-blocking agent silicon dioxide and surface PP was produced due to their incompatibility. When the content of silicon dioxide was more than 0.15% (mass fraction), the fog increased rapidly and the gloss decreased. Selection and optimization of additives in film formulation are the keys to develop BOPP films with high surface gloss and low fog.

KEY WORDS: BOPP film; additive; surface gloss; fog

BOPP 薄膜无色、无味、无毒,具有良好的拉伸性能、冲击性能、透明性和光泽度,是一种理想的包装材料^[1-5]。随着 BOPP 薄膜行业的发展,人们对包装薄膜的要求越来越高,特别是良好的视觉效果。透明 BOPP 薄膜的光学性能如表面光泽度和雾度是非常重要的控制指标,优异的光学性能有利于完善薄膜的产品结构,提高包装薄膜产品的档次,提升 BOPP 薄膜产品的竞争力。

制备具有优良光学性能的 BOPP 薄膜需要很多辅助材料,以满足薄膜加工、使用等性能的要求,主要有增刚母料、抗静电母料、爽滑母料、抗粘连母料等^[6-9]。母料大多是几种添加剂的组合,以实现 BOPP 薄膜的不同功效。文中拟单纯从添加剂的角度分析,有氢化石油树脂类、烷基二乙醇胺类、酯类、酰胺类、硅酮类、二氧化硅类、有机微珠类、透明成核剂类等,深入研究几类添加剂对 BOPP 薄膜光学性能的影响,对 BOPP 薄膜生产技术人员准确分析薄膜光学性能的变化、调整配方和优化 BOPP 薄膜层结构、改善 BOPP 薄膜的透明性和表面光泽度具有现实指导意义。

1 实验

1.1 原料

主要原料:共聚 PP, FS5612, 熔体流动速率(230 °C, 2.16 kg)为 5.5 g/10 min,用于 BOPP 薄膜的表层和里层,新加坡聚烯烃公司;均聚 PP, F300M, 熔体流动速率(230 °C, 2.16 kg)为 3.0 g/10 min,用于 BOPP 薄膜的芯层,中国石油化工股份有限公司茂名分公司;氢化石油树脂, P-125, 软化点为 125 °C, 日本出光化学有限公司;烷基二乙醇胺、单甘酯和芥酸酰胺,工业品,江西威科油脂化学有限公司;硅酮、苯基改性硅酮、无定型二氧化硅,工业品,中山北化高分子材料有限公司。

1.2 设备与仪器

主要设备与仪器:双螺杆挤出机, TES-65 型, 南京科亚挤出装备有限公司;平面双向拉伸薄膜生产线设备, 德国布鲁克纳机械股份公司;透光率/雾度

测定仪, WGT-S, 上海精密科学仪器有限公司。

1.3 样品制备

BOPP 薄膜总厚度为 21 μm, 为 3 层结构, 表层和里层厚度为 1 μm。表层料使用共聚 PP, 芯层料使用均聚 PP; 将氢化石油树脂(以增刚母料的形式)、抗静电剂(以抗静电母料的形式)添加于芯层, 爽滑剂(以爽滑母料的形式)、抗粘连剂(以抗粘连母料的形式)添加于里层和表层, 均以母料形式添加。

将所有组分按质量比例混合均匀后, 加入双向拉伸挤出设备中进行熔融、混合和挤出流延到急冷辊上, 急冷辊控制温度为 30 °C; 纵向拉伸预热, 纵向拉伸预热辊温度为 80 ~ 150 °C; 纵向拉伸, 纵向拉伸辊温度为 70 ~ 150 °C; 纵向拉伸定型辊温度为 20 ~ 80 °C, 纵向拉伸倍数为 5; 横向拉伸预热温度为 120 ~ 175 °C; 横向拉伸区域温度为 150 ~ 170 °C; 横向拉伸定型区域温度为 100 ~ 150 °C; 冷却; 牵引, 速度为 200 m/s; 收卷, 张力为 150 N/m; 室温下时效处理 7 d; 分切。

1.4 性能测试方法

检测样品为生产存储 1 个月后的 BOPP 薄膜, 依据 GB/T 2410—2008 测试表面光泽度和雾度。

2 结果与分析

2.1 氢化石油树脂对 BOPP 薄膜光学性能的影响

氢化石油树脂是生产 BOPP 热收缩薄膜的重要添加剂, 对 BOPP 薄膜的加工性能和使用性能指标有很大影响。在加工性能方面, 氢化石油树脂能显著提高聚丙烯的熔体流动速率。生产 BOPP 热收缩膜的均聚 PP 的熔体流动速率一般为 3 g/10 min 左右, 氢化石油树脂加入量为 20% (质量分数), 熔体流动速率可以提高到 5 g/10 min 左右, 显著改善了物料的加工流动性, PP 的成膜性能也得到大大提高。添加氢化石油树脂还可以提高 BOPP 薄膜的弹性模量、热收缩性、阻隔透湿性和透氧性等^[10]。

BOPP 薄膜光学性能的 2 个主要指标是表面光泽

度和雾度，光泽度主要反映薄膜表面的平整程度和对光线的反射特性，雾度主要是指薄膜的不清晰或混浊程度，由薄膜表面和内部对光的散射产生。透明薄膜要求雾度低、光泽度高。氢化石油树脂通常被制备成增刚母料，以增刚母料的形式添加到 BOPP 薄膜的芯层。

BOPP 薄膜的生产配方如下。表层为共聚 PP+质量分数为 0.15% 的二氧化硅；芯层为均聚 PP+质量分数为 0.45% 的抗静电剂（烷基二乙醇胺和单甘酯质量比为 1:0.3）+若干氢化石油树脂；里层为共聚 PP+质量分数为 0.15% 的苯基改性硅酮。

氢化石油树脂含量对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响见图 1。从图 1 可以看出，5%~20%（质量分数）的氢化石油树脂可以使 BOPP 薄膜的光泽度由 88% 提高到 95%，雾度由 1.7% 降至 0.8%，甚至更低，增透效果明显；同时薄膜表面的平整度得到改善，显然氢化石油树脂对 BOPP 薄膜的光学性能有显著影响。这是因为氢化石油树脂的折光率约为 1.51，与 BOPP 的折光率（约 1.49）很接近，两者均为非极性材料，结构相近，具有很好的相容性；氢化石油树脂为无定型低聚物，PP 为半结晶性聚合物，氢化石油树脂的加入扩大了混合材料的无定型区，显著改变了 PP 高分子链的聚集态结构，部分溶解了 PP 的晶体结构，并细化了 PP 的结晶颗粒，因此使得 PP 的透明性提高，雾度减小。

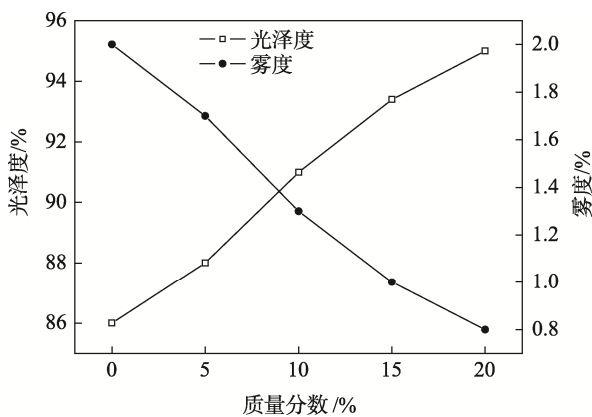


图 1 氢化石油树脂质量分数对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响

Fig.1 Effect of hydrogenated petroleum resin's mass fraction on the surface gloss and fog of BOPP film

2.2 烷基二乙醇胺和单甘酯复配对 BOPP 薄膜光学性能的影响

BOPP 薄膜是具有较大表面积的塑料制品，其表面很容易产生静电，静电对薄膜的生产加工、运输存储和使用特性等方面有很大的负面影响，因此，通常在薄膜生产过程中都会加入抗静电剂。

抗静电母料中常常复配含有 2 种或 3 种抗静电

剂，以起到协同配合的效果，抗静电剂最常用的复配方式是烷基二乙醇胺与单甘酯以一定的比例配合使用，可达到良好的抗静电效果。研究表明，1 份烷基二乙醇胺配合使用 0.3~0.5 份单甘酯虽能获得较好的抗静电效果^[6]，但作为包装用材料，除了要考虑助剂本身的功效外，还要考虑助剂对薄膜光学性能的影响。

研究表明，由于材料的相容性以及折光率存在差异，因此所有的内添加型抗静电剂在迁移中都会对薄膜的光学性能造成负面影响^[6]。在此研究中，将烷基二乙醇胺和单甘酯添加到 BOPP 薄膜的芯层，总质量分数为 0.45%，单甘酯质量分数分别为 0.063%，0.084%，0.105%，0.126%，0.147%，对应的烷基二乙醇胺质量分数分别为 0.387%，0.366%，0.345%，0.324%，0.303%。

BOPP 薄膜的生产配方：表层为共聚 PP 质量分数 0.15% 的二氧化硅，芯层为均聚 PP 质量分数 0.45% 的抗静电剂（不同质量配比的烷基二乙醇胺和单甘酯）+质量分数为 12.5% 的氢化石油树脂；里层为共聚 PP+质量分数为 0.15% 的苯基改性硅酮。

烷基二乙醇胺和单甘酯复配含量对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响见图 2，可直观反映出 2 种抗静电剂对 BOPP 薄膜光学性能的影响规律。随着烷基二乙醇胺含量的增加，BOPP 薄膜的光泽度由 91.6% 提高到 92.5%，雾度由 1.19% 降至 1.04%。此外，烷基二乙醇胺的添加量远大于单甘酯的添加量，显然烷基二乙醇胺有利于 BOPP 薄膜光学性能的改善，单甘酯对 BOPP 薄膜的表面光泽度和透明性有较大的负面作用，单甘酯含量的提高明显恶化了薄膜的光学性能。综上所述，为了确保 BOPP 薄膜获得较高的表面光泽度和良好的透明性，保证其具有良好的光学指标，单甘酯类抗静电剂的用量必须严格控制。

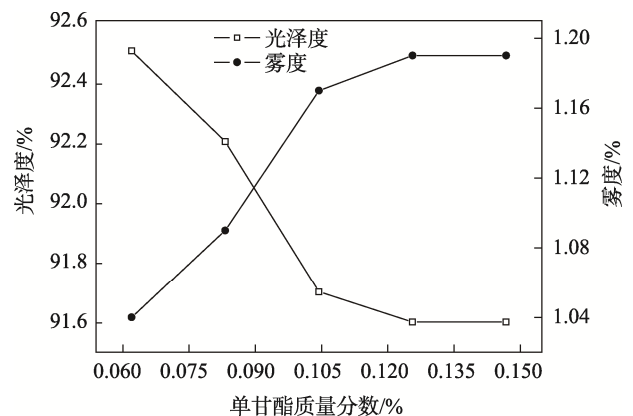


图 2 烷基二乙醇胺和单甘酯复配质量分数对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响

Fig.2 Effect of compound mass fraction of alkyl diethanolamine and monoglycerid on the surface gloss and fog of BOPP film

2.3 硅酮对 BOPP 薄膜光学性能的影响

硅酮是 BOPP 薄膜生产中常用的爽滑剂,硅酮的粘温系数小,粘度调节范围大,可选择空间大,所有运动粘度的硅酮都可做薄膜爽滑剂。文中分别选用运动粘度为 100, 12 500, 60 000 mm^2/s 的硅酮和苯基改性硅酮进行研究比较,以爽滑母料的形式添加到 BOPP 薄膜里层,爽滑剂质量分数为 0.15%,分析了其对光学性能的影响。

BOPP 薄膜研究配方:表层为共聚 PP+质量分数为 0.15%的二氧化硅;芯层为均聚 PP+质量分数为 0.45%的抗静电剂(烷基二乙醇胺和单甘酯质量比为 1:0.3)+质量分数为 12.5%的氢化石油树脂;里层为共聚 PP+不同运动粘度的硅酮和苯基改性硅酮(质量分数为 0.15%)。

由不同运动粘度硅酮制备 BOPP 薄膜的光学性能见表 1,可以看出,从 100 mm^2/s 到 60 000 mm^2/s ,硅酮分子在 PP 基体中的分散差异很大,显然小分子更容易分散,对光学性能的影响较小;分子量不容易分散,易于聚集,对光学性能的影响较大。综上,应该选择分子量小的硅酮。此外,采用与 PP 具有更相近折光率的苯基改性硅酮后,与 PP 材料的光学响应得到改善,因此,在添加量相同时,苯基改性硅酮可以使 BOPP 薄膜表面的光泽度提高,透明性更好。

表 1 不同运动粘度硅酮对 BOPP 薄膜光学性能的影响
Tab.1 Effect of silicone with different kinetic viscosities on optical properties of BOPP Film

运动粘度/ $(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	光泽度/%	雾度/%
100	91.2	1.50
12 500	90.5	1.60
60 000	90.3	1.60
300(改性硅酮)	92.0	1.30

2.4 芥酸酰胺对 BOPP 薄膜光学性能的影响

芥酸酰胺具有良好的耐热稳定性,是 BOPP 薄膜生产中常用的爽滑剂,具有抗粘连的作用。作为爽滑剂,芥酸酰胺一般添加于薄膜表层,有时为了保证薄膜持续的爽滑性能也添加于薄膜芯层,在使用过程中再逐步迁移到薄膜表面,从而发挥作用。正是由于具有迁移特性,芥酸酰胺会聚集在薄膜表面,因而对薄膜表面的光泽度和透明性有一定影响。对于光学性能要求不高的普通膜,芥酸酰胺的影响不明显;对于高光泽和低雾度的高亮高透 BOPP 薄膜,芥酸酰胺的加入会产生显著的负面影响。

芥酸酰胺一般可以单独制备成母料,也可以与抗静电剂复配制备成母料添加到 BOPP 薄膜中。此研究中,芥酸酰胺的质量分数为 0.02%,单独制备成芥酸

酰胺爽滑母料,并添加于 BOPP 薄膜的芯层。

BOPP 薄膜的生产配方:表层为共聚 PP+质量分数为 0.15%的二氧化硅;芯层为均聚 PP+质量分数为 0.45%的抗静电剂(烷基二乙醇胺和单甘酯质量比为 1:0.3)+质量分数为 12.5%的氢化石油树脂+质量分数为 0.02%的芥酸酰胺;里层为共聚 PP+质量分数为 0.15%的苯基改性硅酮。

分析芥酸酰胺的添加以及时间对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响,见图 3—4。研究表明,芥酸酰胺的添加造成了 BOPP 薄膜光泽度下降,雾度增加,显然芥酸酰胺的添加明显恶化了薄膜的光学性能。

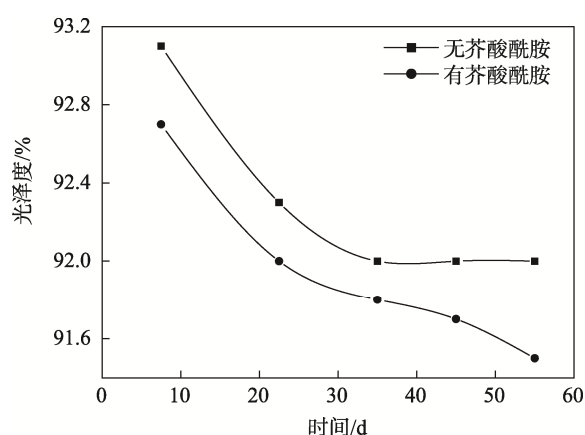


图 3 芥酸酰胺对 BOPP 薄膜表面光泽度的影响
Fig.3 Effect of erucic amide on the surface gloss of BOPP film

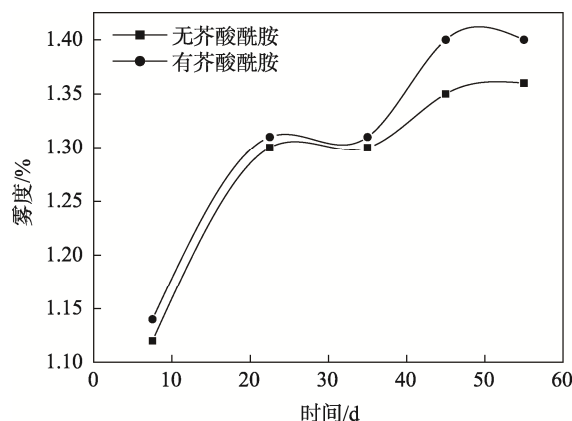


图 4 芥酸酰胺对 BOPP 薄膜雾度的影响
Fig.4 Effect of erucic amide on the fog of BOPP film

2.5 二氧化硅对 BOPP 薄膜光学性能的影响

二氧化硅是 BOPP 薄膜中常用的抗粘连剂^[1],根据薄膜的表层厚度设计,一般选用粒径为 2~5 μm 的二氧化硅颗粒制备抗粘连母料,随后添加到 BOPP 薄膜表层。

BOPP 薄膜的生产配方:表层为共聚 PP+不同含量二氧化硅;芯层为均聚 PP+质量分数为 0.45%的抗

静电剂(烷基二乙醇胺和单甘酯质量比为 1:0.3)+质量分数为 12.5%的氢化石油树脂;里层为共聚 PP+0.15%(质量分数)苯基改性硅酮。

二氧化硅含量对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响见图 5,可以看出,在二氧化硅含量大于 0.15%(质量分数)时,对薄膜的光学性能有显著影响,雾度迅速提高,光泽度下降;随着添加量的增加,二氧化硅对薄膜光学性能的负面影响越加显著。这是因为二氧化硅与表层 PP 不相容,进而产生了界面,且在薄膜生产过程中,拉伸作用导致二氧化硅颗粒与基体之间产生了拉伸孔穴,空穴的双折射也对薄膜的表面光泽度和透明性产生了影响。突起的二氧化硅造成薄膜表面粗糙化,对薄膜表面光泽度的影响是不言而喻的。解决二氧化硅与 PP 的相容性和分散性,是制备外观亮丽的 BOPP 薄膜的关键技术之一。

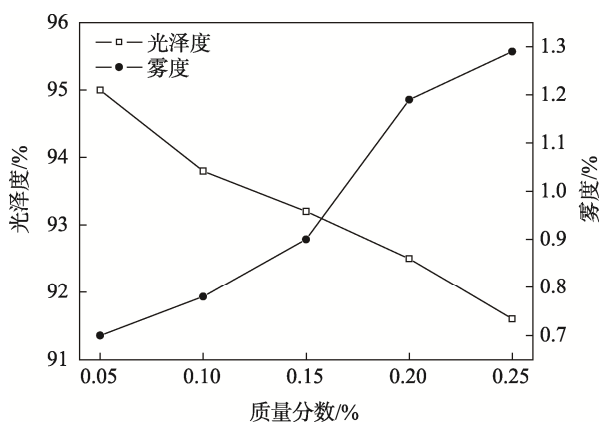


图 5 二氧化硅质量分数对 BOPP 薄膜表面光泽度和雾度的影响

Fig.5 Effect of silicon dioxide's mass fraction on the surface gloss and fog of BOPP film

此研究中各个试验是在不同时间点实施的,由于 BOPP 薄膜生产具有时效性,即使是完全相同的配方,在不同的季节生产,其产品光学指标也有很大差异,因此,只有同一组数据才有可比性。无论如何,光学性能指标随时间而恶化的趋势是无法改变的。膜中 PP 聚集态结构和添加剂品种与 BOPP 薄膜的光学性能有直接关系^[12-13];配方中的爽滑剂、抗粘连剂和抗静电剂都会对光学性能造成不同程度的影响^[14];生产工艺和薄膜表层与芯层厚度及比例也对光学性能有直接影响^[15-16],因此,薄膜生产配方的优化以及薄膜层结构的设计是开发高表面光泽度低雾度 BOPP 薄膜的关键。

3 结语

氢化石油树脂与芯层均聚 PP 有良好的相容性,且折光率相近,添加氢化石油树脂有利于改善 BOPP 薄膜的表面光泽度,并降低雾度,进而改善 BOPP 薄

膜的透明性。

抗静电剂(烷基二乙醇胺、单甘酯)和爽滑剂(硅酮类、芥酸酰胺)与均聚 PP 有部分相容性,在迁移过程中不同程度地影响着 BOPP 薄膜的光学性能。对于单甘酯和芥酸酰胺,随着添加剂迁移到表面,BOPP 薄膜的表面光泽度下降、雾度提高、透明性变差。在烷基二乙醇胺与单甘酯复配的抗静电剂体系中,烷基二乙醇胺含量提高有利于 BOPP 薄膜光学性能的改善,单甘酯对 BOPP 薄膜的表面光泽度和雾度有较大的负面作用。苯基改性硅酮比普通硅酮更有利于提高 BOPP 薄膜表面的光泽度以及透明性。需要考量薄膜的光学性能时,应该选择分子量小的硅酮类爽滑剂。

抗粘连剂二氧化硅以固体颗粒形式存在于 BOPP 薄膜表层,由于与表层共聚 PP 不相容,因此产生了界面,同时,拉伸工艺的空穴效应进一步影响了 BOPP 薄膜的光学性能。在二氧化硅质量分数大于 0.15%时,对薄膜光学性能有显著影响,雾度迅速提高,光泽度下降。综上,解决二氧化硅在 PP 中的相容性、分散性,同时对工艺进行调整,是制备外观亮丽的 BOPP 薄膜的关键技术之一。

参考文献:

- [1] 周亚男, 张秀梅, 陈焯. 聚丙烯无纺布活性包装材料的制备及性能研究[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 82—87.
ZHOU Ya-nan, ZHANG Xiu-mei, CHEN Ye. Preparation and Properties of Polypropylene Non-woven Fabric Active Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(15): 82—87.
- [2] 黄捷, 王波, 杨金明. 高光泽度聚丙烯的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(4): 17—20.
HUANG Jie, WANG Bo, YANG Jin-ming. Research on High Gloss Polypropylene[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(4): 17—20.
- [3] 高红波, 孙峰. 汽车零部件包装用 PP/SBN 复合材料的性能研究[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 80—84.
GAO Hong-bo, SUN Feng. Properties of PP/SBN Composites for Automobile Parts Packaging[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 80—84.
- [4] 倪洋洋, 林月城, 江贵长, 等. 等规聚丙烯改性的研究进展[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 144—149.
NI Yang-yang, LIN Yue-cheng, JIANG Gui-chang, et al. Research Progress of Isotactic Polypropylene Modification[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 144—149.
- [5] NUNTAPICHEDKUL B, TANTAYANON S, LAOHHASURAYOTIN K. Practical Approach in Surface Modification of Biaxially Oriented Polypropylene Films for Gravure Printability[J]. Applied Surface Science, 2014, 314: 331—340.

- [6] 张莉琼, 刘晓艳, 赵素芬, 等. 低摩擦系数 BOPP 烟膜的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2017, 29(2): 36—38.
ZHANG Li-qiong, LIU Xiao-yan, ZHAO Su-fen, et al. The Development on the BOPP Cigarette Film with Low Friction Coefficient[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(2): 36—38.
- [7] 刘晓艳, 张莉琼, 赵素芬, 等. BOPP 薄膜抗静电性能的研究[J]. 合成树脂及塑料, 2016, 33(1): 29—31.
LIU Xiao-yan, ZHANG Li-qiong, ZHAO Su-fen, et al. Development of Antistatic Properties of BOPP Film[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2016, 33(1): 29—31.
- [8] 纪小宾. BOPP 薄膜表面耐磨性能的工艺优化研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017: 18—23.
JI Xiao-bin. Study on Process Optimization of Wear Resistance of BOPP Film Surface[D]. Guangzhou: South China University of Science and Engineering, 2017: 18—23.
- [9] 刘伟, 王向东, 许国志. 不同抗静电剂对聚丙烯抗静电性能和力学性能的影响[J]. 中国塑料, 2010, 24(4): 39—43.
LIU Wei, WANG Xiang-dong, XU Guo-zhi. Effects of Antistatic Agents on Antistatic and Mechanical Properties of Polypropylene[J]. China Plastics, 2010, 24(4): 39—43.
- [10] 赵素芬, 涂志刚, 张莉琼, 等. BOPP 香烟包装热收缩膜增刚母料的开发[J]. 塑料科技, 2012, 40(3): 70—72.
ZHAO Su-fen, TU Zhi-gang, ZHANG Li-qiong, et al. Development of Rigid Masterbatch of BOPP Heat Shrinkable Film for Cigarette Package[J]. Plastics Science and Technology, 2012, 40(3): 70—72.
- [11] 张敏, 常欢, 李东立, 等. 双向拉伸聚丙烯薄膜在有机二氧化硅颗粒共存下的结晶结构和形态[J]. 中国塑料, 2018, 32(6): 65—71.
ZHANG Min, CHANG Huan, LI Dong-li, et al. Crystalline Structure and Morphology of Biaxial Oriented Polypropylene Film under Coexistence of Silica Nanoparticles[J]. China Plastics, 2018, 32(6): 65—71.
- [12] 姜艳峰, 安彦杰, 李瑞, 等. 成核剂对聚丙烯结晶行为的研究[J]. 中国塑料, 2017, 31(10): 26—32.
JIANG Yan-feng, AN Yan-jie, LI Rui, et al. Effects of Nucleation Agents on Crystallization Behavior of Polypropylene[J]. China Plastics, 2017, 31(10): 26—32.
- [13] 董莉. 高光泽低气味聚丙烯的结构与性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2019: 12—15.
DONG Li. Study on Structure and Properties of High Gloss and Low Odor Polypropylene[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2019: 12—15.
- [14] 刘晓艳, 涂志刚, 赵素芬, 等. 超爽滑 BOPP 薄膜的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 48—50.
LIU Xiao-yan, TU Zhi-gang, ZHAO Su-fen, et al. Development of Super Slip BOPP Film[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 48—50.
- [15] 高达利, 张师军, 徐毅辉, 等. 原料结构对 BOPP 薄膜拉伸工艺及性能的影响[J]. 塑料科技, 2018, 46(5): 34—37.
GAO Da-li, ZHANG Shi-jun, XU Yi-hui, et al. Influence of the Molecular Structure on the Tensile Process and Properties of BOPP Films[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(5): 34—37.
- [16] 柯君豪, 封水彬, 蒋文军. 双向拉伸聚丙烯薄膜专用料的结构与性能[J]. 石化技术与应用, 2017, 35(3): 234—237.
KE Jun-hao, FENG Shui-bin, JIANG Wen-jun. Structure and Property of Biaxially Oriented Polypropylene Special Resin[J]. Petrochemical Technology & Application, 2017, 35(3): 234—237.